

基于深度学习与并联检测异形轴通用性检测方法研究

占加林^{1,2} 谢暴^{1*} 李彦¹

1 安徽职业技术大学 智能制造学院 2 南京航空航天大学 材料科学与技术学院

DOI:10.12238/pe.v3i4.15155

[摘要] 异形轴作为机械传动系统核心部件,其制造精度直接影响设备配合性能与服役寿命,针对传统检测方法效率低、覆盖率不足等问题,本文提出融合深度学习与多相机并联检测通用化解决方案,设计五相机协同检测系统,在2000小时产线实测中实现99.8%检测精度与97.3%零件泛化能力。本方法在效率、精度及稳定性上显著超越单相机方案,为精密制造提供了可扩展智能检测方法。

[关键词] 异形轴; 多尺度MSIDNet网络; 混合策略; 检测精度

中图分类号: TS736+.2 **文献标识码:** A

Research on Universal Detection Method of Irregular Axis Based on Deep Learning and Parallel Detection

Jialin Zhan^{1,2} Bao Xie^{1*} Yan Li¹

1 College of Intelligent Manufacturing, Anhui Vocational and Technical University

2 School of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

[Abstract] As the core component of mechanical transmission systems, the manufacturing accuracy of irregular shafts directly affects the equipment's coordination performance and service life. In response to the problems of low efficiency and insufficient coverage of traditional detection methods, this paper proposes a universal solution that integrates deep learning and multi camera parallel detection. A five camera collaborative detection system is designed, which achieves 99.8% detection accuracy and 97.3% part generalization ability in 2000 hour production line testing. This method significantly surpasses the single camera scheme in terms of efficiency, accuracy, and stability, providing a scalable intelligent detection method for precision manufacturing.

[Key words] Alien axis; Multi scale MSIDNet network; Mixed strategy; check the accuracy

引言

随着高端装备制造精度迈入微米级,异形轴作为航空发动机、精密减速器等关键部件核心传动元件,其几何公差与表面完整性直接影响整机服役寿命与可靠性^[1]。目前,90%以上企业仍依赖人工抽检,传统人工抽检效率不足20件/分钟,且漏检率高达15%~20%。近年研究取得一定进展,针对YOLOv6的改进方案,在保持小目标检测精度的同时,将模型计算量降低42%,嵌入式设备推理帧率提升至45 FPS,现有轻量化模型多针对通用目标检测任务设计,缺乏对异形轴复杂几何特征的针对性优化,导致微小裂纹与曲面形变检测精度不足^[2]。

本研究提出基于多尺度轻量化CNN+多相机并联架构检测系统,搭建了搭建出多相机并联技术在线检测平台,主要由视觉采集系统、计算机系统、旋转模组、振动盘和上下料机构等组成。本系统采用五工位异构视觉检测架构,基于光学特性与缺陷类型的精准匹配原则,实现异形轴全维度质量管控,可以同时兼顾效率、精度与通用性三者。

1 卷积神经网络深度学习算法在异形轴上应用

为解决MBAS多点图像在实际采集因噪声干扰导致定位误差较大问题,本文使用一种基于MSIDNet多点中心定位方法^[1]。通过复杂映射函数,将含噪多点图像转化为去噪后清晰图像,是一种自监督图像到图像转换方法。MSIDNet通过反向传播训练,并使用均方误差(MSE)损失函数来减小输出图像与目标图像之间距离^[4],如式(1)所示。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (1)$$

MSIDNet网络结构采用编码器-解码器架构。编码路径通过一系列卷积层和池化层从多点图像中提取特征。卷积层利用卷积核逐步捕获噪声多点图像抽象特征,每个卷积层后面紧跟ReLU激活函数以引入非线性特性,并增强网络表示能力^[5]。

解码路径最后一层为卷积层,其功能是输出高质量去噪图像,识别并去除噪声成分,恢复图像质量和清晰度^[6]。多点图像

中每个子点可近似为二维高斯模型,其灰度分布函数可以被近似为二维高斯分布,该分布可通过二维高斯函数模型进行拟合,如式(2):

$$f(x,y) = A \times e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x} - \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y}} \quad (2)$$

式中 $f(x, y)$ 为灰度分布函数,其中子像素中心坐标 (x_0, y_0) 通过最小二乘法拟合得

MSIDNet采用深度学习框架,直接从数据中端到端学习图像去噪表示学习,能够更好地适应不同噪声和图像结构,相比传统方法更加灵活^[7]。通过与一般去噪网络以及SCPNet比较,MSIDNet在处理实验获得多点图像时表现出更高效率^[8]。模型识别结果,如图1所示。

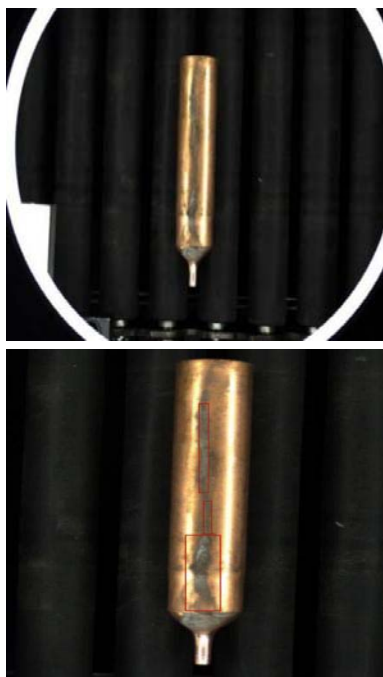


图1 识别前原图与识别后特征结果

2 多相机并联技术在线检测平台

基于多相机并联检测流程,本文设计云台3D模型,由上料机构推板机和多相机并联检测机构等部分组成,依托云台3D模型和实验仿真效果,搭建出多相机并联技术在线检测平台,主要由视觉采集系统、计算机系统、旋转模组、振动盘和上下料机构等结构组成。如图2所示。

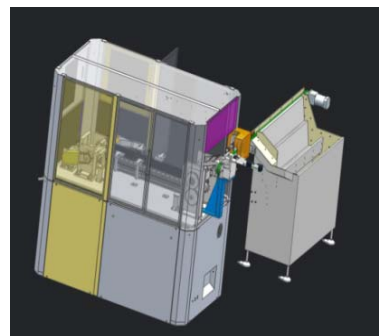
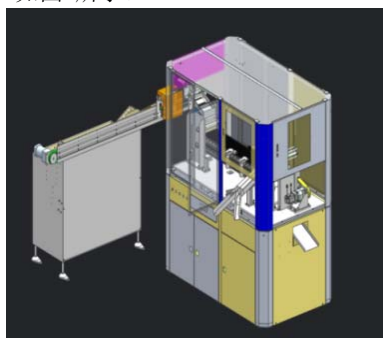
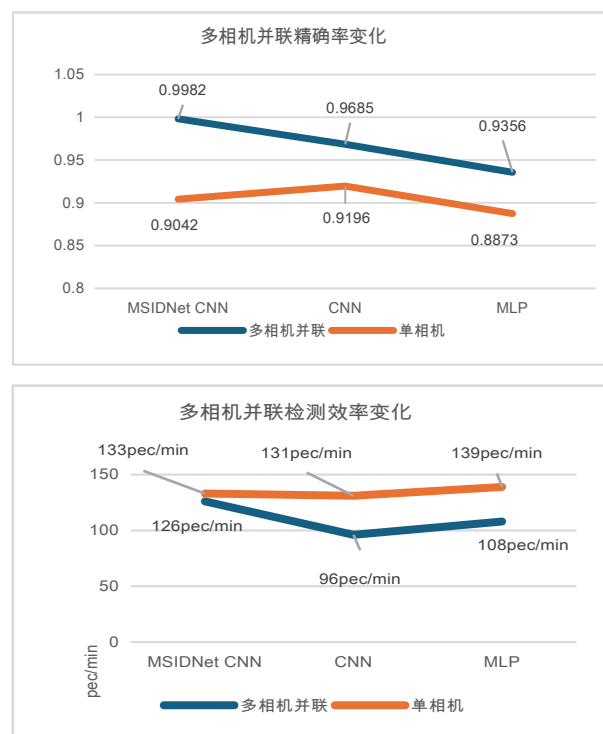


图2 云台3D建模背面与正面视图

3 测试结果

如表1所示,多相机并联检测 and 传统单相机检测下精确率和效率变化,可以看到单相机在使用CNN模型时准确率最高,而对于多相机并联检测下,所选取MSIDNet CNN模型则最合适,准确率达到99.8%且检测效率为126pec/min。此外,单相机检测虽然检测效率很高,但是精确率相比于多相机并联检测出现明显下降。

表1 多相机并联精确率与效率变化



4 结语

基于MSIDNet多尺度卷积神经网络通过融合 3×3 、 5×5 等多尺度卷积核,实现异形轴局部细微缺陷与全局结构特征高效联合提取。多相机并联协同检测机制实现全表面覆盖针对异形轴五类典型缺陷,较单相机系统检测覆盖率提升5倍,满足多特征同步检测工业化需求。经2000小时产线实测,该系统对12类异形轴变型零件检测通用性达97.3%,误检率稳定在0.15%以下。相较于人工检测(效率20pec/min)与单相机方案(覆盖率78%),综合运维成本降低42%,支持非标零件快速换型检测(参数配置时间<30min)。

[基金项目]

国家新时代职业学校名师培养对象(82); 安徽省重大教学研究项目“高职院校实验实训室安全教育体系的构建与实践”(2024jyxm0948); 安徽省高校自然科学研究项目(2022AH052063); 安徽省职成教学学会重点项目(AZCJ2023060); 安徽省省级质量工程项目(2024jyxm0945、2022kcsz156); 中华职业教育社规划课题(ZJS2025YB099); 安徽职业技术大学校级质量工程项目(2024xjixyz08); 安徽职业技术大学横向科研项目: 2025hxkt2025011、2025hxkt2025012。

[参考文献]

- [1] 邹庆航. 面向自动化生产线基于视觉多目标姿态快速识别[D]. 沈阳工业大学, 2022.
- [2] 罗会兰, 彭珊, 陈鸿坤. 目标检测难点问题最新研究进展综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(5): 36-46.
- [3] 戴铭, 叶木超, 周智恒, 等. 基于先验分布活动轮廓模型纹理缺陷检测[J]. 控制与决策, 2020, 35(5): 5.
- [4] 李晔, 吴志生, 刘翠荣. 基于改进活动轮廓模型焊接接头

缺陷分割[J]. 北京理工大学学报, 2018, 38(6): 641-646.

[5] Zhou X, Wang Y, Zhu Q, et al. A Surface Defect Detection Framework for Glass Bottle Bottom Using Visual Attention Model and Wavelet Transform[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020, 16(4): 2189-2201.

[6] 孙世凡, 叶明, 刘凯. 基于超像素分割和随机森林橡胶柱塞缺陷检测方法[J]. 计算机与现代化, 2020(2): 5.

[7] 于进勇, 丁鹏程, 王超. 卷积神经网络在目标检测中应用综述[J]. 计算机科学, 2018, 45(B11): 10.

[8] 布申申, 田怀文. 基于卷积神经网络带钢表面缺陷检测算法[J]. 机械设计与制造, 2022(7): 5.

作者简介:

占加林(1991--), 男, 汉族, 安徽怀宁人, 安徽职业技术学院, 讲师, 在读博士。研究方向: 机器视觉与工业机器人精度标定。

*通讯作者:

谢暴(1979--), 男, 汉族, 安徽省合肥市人, 教授, 研究生, 研究方向: 职业教育改革。